

REDUKSI HARMONISA DENGAN *FILTER* AKTIF *SHUNT* BERBASIS MATLAB/SIMULINK

Dani Nur Prabowo¹, Muhamad Haddin², Dedi Nugroho³

^{1,2,3} Jurusan MTE, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang
Jl. Raya Kaligawe KM 4, Semarang

Email : dani.elektro11@gmail.com, haddin@unissula.ac.id, dedi.nugroho@unissula.ac.id

ABSTRAK

Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang memiliki tingkat pemakaian energi listrik yang membutuhkan kualitas daya listrik yang baik. Tingginya penggunaan beban non linier yang diopeasikan dapat menimbulkan harmonisa yang merupakan permasalahan utama dalam kualitas daya listrik. Harmonisa memiliki dampak buruk dalam sistem tenaga listrik yang menimbulkan kerugian dalam sistem pelayanan konsumen yang salah satunya diakibatkan terjadinya kesalahan pembacaan dan kerusakan alat ukur yang digunakan. Untuk Mengatasi masalah ini digunakan filter aktif shunt untuk mereduksi nilai dari harmonisa tersebut.

Penelitian ini memfokuskan pada metode reduksi harmonisa dengan menggunakan filter aktif shunt. Prinsip kerja dari filter aktif shunt untuk mengkompensasi harmonisa dengan cara menyuntikan arus harmonisa yang fasanya berbeda 1800. Simulasi filter aktif shunt menggunakan software matlab R2013 yang dibuat berdasar teori daya aktif-reaktif sesaat (*p-q theory*) sebagai penghasil arus refrensi untuk kompensasi harmonisa yang sesuai dengan kondisi beban. Arus refrensi tersebut digunakan sebagai sinyal refrensi pembangkit PWM untuk memicu Inverter yang kemudian membangkitkan arus filter yang diinjeksikan pada sistem yang dibuat berdasarkan data yang diambil dari sistem kelistrikan MDP Gedung Lama Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang.

Hasil menunjukan bahwa penurunan nilai THD arus 1,4 % pada fasa R, 1,51% untuk fasa S, dan fasa T mencapai 1,37%. .

Kata Kunci : Harmonisa, THD, IHD, Filter aktif shunt

1. PENDAHULUAN

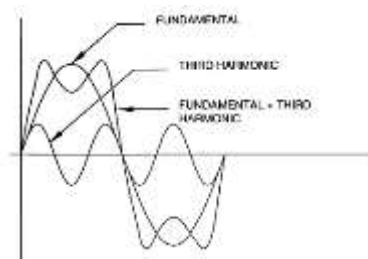
Latar Belakang Permasalahan

Meningkatnya kebutuhan tenaga listrik dipengaruhi oleh banyaknya beban atau peralatan listrik yang digunakan. Penggunaan dari beban atau peralatan tersebut dapat menghasilkan gangguan pada gelombang arus dan tegangan yang merusak gelombang sinusoidal dasar, sehingga dapat menurunkan kualitas energi listrik dimana mempunyai

kontribusi yang sangat penting bagi konsumen.

Secara umum beban yangeralatannya menggunakan rangkaian semikonduktor atau komponen elektronika daya dapat menimbulkan harmonisa yang disebabkan distorsi terhadap gelombang sinuosida pada tegangan dan arus. Beban-beban tersebut disebut beban-beban non linier. Beberapa peralatan listrik, seperti komputer, televisi, lampu dengan ballast elektronik

maupun ballast magnetik, tape recorder, dan peralatan elektronik lainnya., merupakan beban yang juga sekaligus merupakan sumber harmonik, karena beban tersebut bersifat non linier. Gelombang sinuisodal tegangan dan arus yang dihasilkan dari beban non linier tersebut berfrekuensi tinggi, dimana merupakan kelipat frekuensi fundamentalnya (50Hz) yang menyebabkan harmonisa.



Gambar 1. Bentuk gelombang distorsi harmonisa

Akibat dari adanya harmonik yang terjadi adalah komponen-komponen peralatan dalam sistem akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan (Hadi S., 2012). Hal tersebut dapat mengganggu dalam penggunaan peralatan listrik dalam semua bidang pekerjaan.

Salah satu cara untuk mengurangi atau menghilangkan harmonisa yaitu dengan penggunaan filter. Pada sistem tenaga listrik biasanya terdiri dari filter aktif dan filter pasif. Filter pasif dapat Reduksi Harmonisa.....

digunakan sebagai solusi dalam menyelesaikan masalah arus harmonisa, tetapi dapat memfilter hanya salah satu frekuensi saja dan dapat menimbulkan resonansi karena adanya interaksi antara filter pasif dengan beban yang lainnya, sehingga untuk menanggulangi kekurangan dari filter pasif tersebut, digunakan filter aktif yang dapat mengkompensasi harmonisa lebih dari satu frekuensi (Afonso J.,2000).

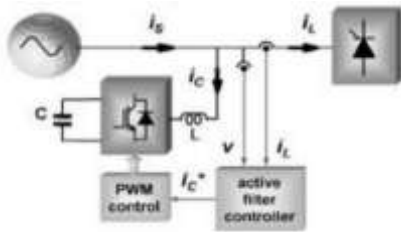
Filter aktif tersebut merupakan jenis baru untuk peralatan filter eliminasi harmonisa dalam sistem tenaga yang dipasang secara paralel antara sumber dan beban. Komponen utama yang terdapat pada filter aktif adalah inverter dan rangkaian pengontrol (Odinanto, 2013).

Kinerja dari filter aktif sangat bergantung pada jenis kontrol pembangkit arus refrensi yang digunakan. Pada penelitian ini memfokuskan tentang perbaikan harmonisa dengan menggunakan filter aktif shunt dengan metode kontrol arus refrensi daya aktif-reaktif sesaat atau teori p-q menggunakan matlab R2013.

2. Filter Aktif *Shunt*

Prinsip kerja dari filter aktif shunt yaitu mengkompensasi arus beban dengan cara yang sederhana yaitu

menyuntikan arus harmonisa yang fasanya berbeda 180° dengan yang dihasilkan beban, sehingga saling menghilangkan (D.Pradeep kumar, 2007)

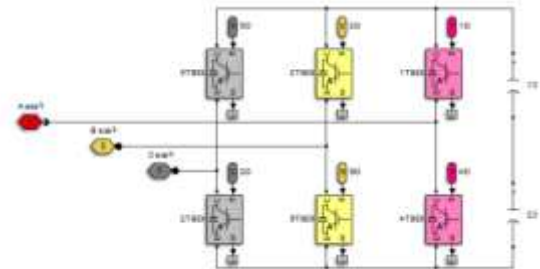


Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen *Filter Aktif Shunt*.

Rangkaian filter aktif shunt dapat dilihat pada Gambar 2. Filter aktif shunt mendapatkan inputan dari sumber tegangan dan arus beban yang digunakan untuk memperoleh arus referensi harmonisa pada sistem kontrol. Teori daya aktif reaktif (p-q) digunakan sebagai kontrol untuk mendapatkan arus referensi. Teori ini sangat efisien dan fleksibel dalam merancang pengendali untuk pengkondisi daya berdasarkan pada perangkat elektronika daya (Muhammad Shahbaz, 2012).

Arus referensi tersebut akan digunakan untuk referensi pembangkit PWM yang akan dibandingkan dengan sinyal carrier yang akan menghasilkan pulsa. Pulsa tersebut digunakan untuk memicu inverter yang kemudian digunakan untuk membangkitkan gelombang arus filter untuk diinjeksikan

ke dalam sistem. Jenis inverter yang digunakan untuk membangkitkan gelombang arus filter yaitu VSI (*Voltage Source Inverter*).



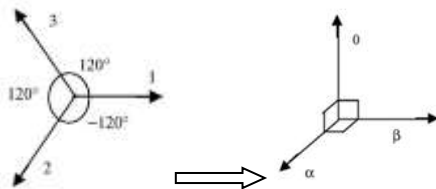
Gambar 3. Rangkaian VSI (*Voltage Source Inverter*)

Penggunaan VSI (*Voltage Source Inverter*) untuk memungkinkan pengaturan arus harmonisa pada filter aktif. Inverter ini menggunakan kapasitor dc sebagai supply dan dapat melakukan proses *switching* pada frekwensi yang tinggi untuk menghasilkan sinyal yang mampu mengatasi arus harmonisa yang dihasilkan beban nonlinear (Luqman Assaffat, 2013).

A. Teori Daya Sesaat

Teori daya aktif dan reaktif sesaat atau disebut teori p-q didasarkan pada nilai sesaat daya aktif dan reaktif yang dedefinisikan domain waktu. Tidak ada batasan pada tegangan atau bentuk gelombang arus, dan dapat diterapkan untuk 22system tiga fase dengan atau tanpa kawat netral untuk gelombang tegangan dan arus tiga fasa (Akagi,

2007). Teori p-q ini menggunakan transformasi Clarke untuk merubah sistem fasa tegangan dan arus dari 3 fasa RST menjadi sistem fasa koordinat $\alpha\beta 0$, dan kemudian mencari nilai daya sesaat pada koordinat tersebut



Gambar 4. Transformasi sistem RST menjadi $\alpha\beta 0$

Transformasi *Clarck* untuk tegangan $\alpha\beta 0$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_R \\ v_S \\ v_T \end{bmatrix} \quad (1)$$

Sedangkan transformasi *Clarck* untuk arus $\alpha\beta 0$ dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L_R} \\ i_{L_S} \\ i_{L_T} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Setelah mendapatkan nilai tegangan dan arus dalam system fasa $\alpha\beta 0$, kemudian dicari nilai dari daya aktif sesaat dan daya reaktif sesaat dapat

diperoleh melalui persamaan seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} P_0 \\ P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Menurut teori p-q, daya nyata aktif dan daya reaktif dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\text{Daya aktif} : p = \bar{p} + \bar{p} \quad (4)$$

$$\text{Daya reaktif} : q = \bar{q} + \bar{q} \quad (5)$$

$$\text{Daya urutan nol} : p_0 = \bar{p}_0 + \bar{p}_0 \quad (6)$$

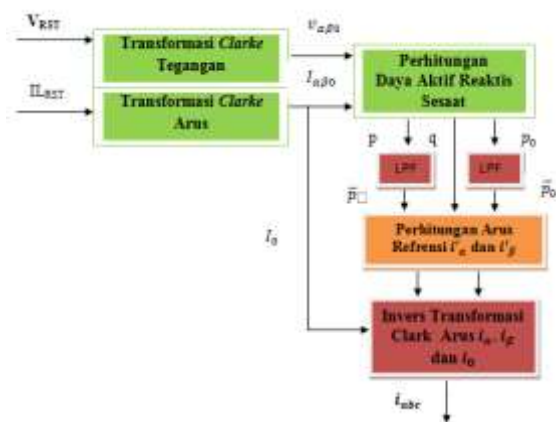
Pada kondisi normal, daya yang dibutuhkan hanya nilai daya aktif rata-rata (p) oleh sistem, yang merupakan daya aktif yang diserap. Sehingga perlu menghilangkan komponen komponen daya yang lainya Δp (p_0, \bar{p} dan q) (Kirti Vibhute, 2014). Komponen daya yang dihilangkan tersebut digunakan untuk mencari arus referensi alfa betha yang diperoleh dari persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} i'_\alpha \\ i'_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta p \\ q_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

Arus i'_α , i'_β , i_0 ditransformasikan kembali ke dalam sistem 3 fasa untuk mendapatkan arus referensi harmonisa yaitu i_a , i_b , dan i_c .

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_\alpha \\ i'_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

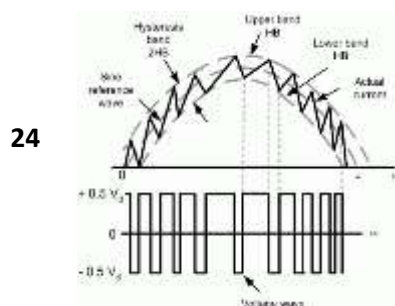
Arus referensi ini yang digunakan untuk masukan PWM sebagai pemicu inverter yang kemudian digunakan untuk membangkitkan gelombang arus filter untuk diinjeksikan ke dalam sistem. Untuk algoritma kontrol mendapatkan arus referensi kompensasi menggunakan perhitungan p-q ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Algoritma Kalkulasi Teori p-q

B. Teknik Kendali Histerisis

Teknik *hysteresis current control* atau teknik kendali arus histerisis adalah sistem kontrol *closed loop* yang menggunakan sinyal *error* $e(t)$ untuk membuat pola penyalaaan pada saklar untuk mengontrol arus input sumber ac.



Gambar 6. Sistem kendali histerisis

Gambar 6 menunjukkan sistem kendali histerisis. Arus referensi dari kontrol p-q akan dibandingkan dengan arus aktual sehingga menghasilkan sinyal error, dimana arus aktual tersebut merupakan arus *output* filter. Jika selisih (sinyal error) adalah bernilai positif maka rangkaian kontrol akan memberikan sinyal untuk menaikkan arus aktual. Jika hasil selisih negatif maka rangkaian kontrol akan memberikan sinyal untuk menurunkan arus aktual. Keluaran dari blok ini adalah berupa pulsa yang akan membangkitkan inverter apakah harus *ON* atau *OFF*.

C. Voltage Source Inverter (VSI)

VSI merupakan perangkat elektronika daya yang mempunyai definisi secara umum yaitu suatu rangkaian yang digunakan untuk merubah sumber tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan menggunakan sumber tegangan DC. Nilai tegangan DC dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$V_{dc} = 2\sqrt{2} \times V_{s-max} \quad (9)$$

Rangkaian VSI ditunjukkan pada Gambar 3, dimana digunakan kapasitor sebagai sumber tegangan dc. Untuk mencari nilai kapasitor pada maka dibutuhkan parameter diantaranya :

$$C_{dc} \geq \frac{V_s \times \Delta I_L \times T}{|(V_{dc,max})^2 - (V_{dc})^2|} \quad (10)$$

dengan :

V_s = tegangan Sumber (Volt)

ΔI_L = arus maksimum distorsi (Amper)

T = periode gelombang tegangan (s)

V_{dc} = tegangan dc referensi (Volt)

$V_{dc,max}$ = tegangan dc maksimum (Volt)

Salah satu perangkat elektronika daya yang digunakan pada VSI yaitu IGBT yang dibangkitkan oleh PWM yang dihasilkan oleh kendali histerisi.

D. Filter Induktor L_f

Gelombang arus kompensasi filter merupakan hasil keluaran dari pengontrolan switching IGBT pada VSI. Besarnya switching ripple (isw) dari arus kompensasi ditentukan oleh tegangan VSI yang melewati induktor, nilai dari induktor tersebut, serta frekuensi switching VSI (Budiono, R.P,2015). Agar filter aktif tersebut dapat mengkompensasi harmonisa, maka frekuensi *switching* $> 10 \times f_{\text{harmonisa-max}}$. Nilai frekuensi switching tersebut Nilai

filter induktor L_f ditunjukkan pada persamaan berikut (Irawan S., 2013) :

$$L_{f,min} = \frac{V_{dc}}{6 \times I_{sw\ p-p} \times f_{sw\ max}}$$

dengan :

V_{dc} = tegangan V_{dc} (Volt)

$I_{sw\ p-p}$ = arus rippel (Ampare)

$f_{sw\ max}$ = frekuensi switching (Hz)

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

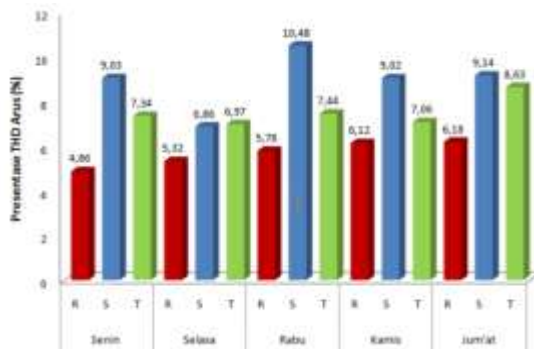
Model penelitian ini merujuk dari data hasil pengukuran pada MDP Gedung Lama Rumah Sakit Roemani muhammadiyah Semarang menggunakan alat Power Quality Analyzer yang ditunjukkan pada Gambar dan Gambar



Gambar 6. Pengukuran Presentase THDi Tegangan

Pada Gambar 6 menunjukkan tingkat presentase THD tegangan pada saat pengukuran. Dengan tegangan operasi 220 Volt, nilai pengukuran presentase THD tegangan tertinggi masih dibawah

5% dari IEEE Std 1992 sehingga masih dalam keadaan baik dan dapat ditoleransi.



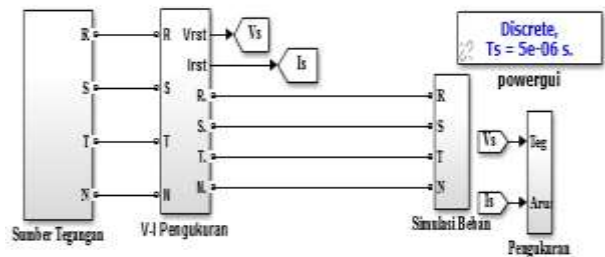
Gambar 7. Pengukuran Presentase THD Arus

Sedangkan pengukuran tingkat presentase THD arus MDP Gedung Lama ditunjukkan pada Gambar 7 menunjukkan grafik tingkat presentase total harmonic distortion (THD) arus pada MDP gedung lama pada pengukuran menggunakan alat *PQ Analyzer*.

Dari hasil pengukuran dapat dianalisa bahwa nilai THD arus pada setiap fasa R, S, dan T lebih dari 5 % yang melebihi standar IEEE Std 512-1992 sehingga perlu adanya kompensasi. Maka pada penelitian ini memfokuskan untuk memperbaiki bentuk gelombang arus yang terdistorsi dan menurunkan nilai dari total harmonic distortion (THD) arus karena nilainya diatas toleransi standar IEEE.

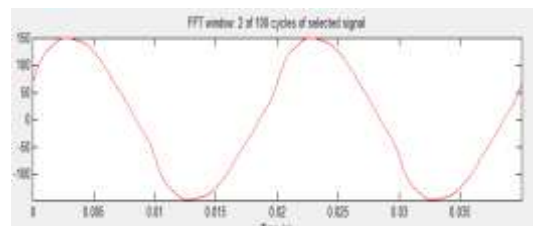
A. Simulasi Tanpa Filter

Pemodelan simulasi sebelum ditambahkan filter aktif shunt menunjukkan kondisi sistem tenaga listrik yang mengalami harmonisa dengan data pengukuran yang digunakan pada data MDP Lama hari Jum'at tanggal 25-09-2015.

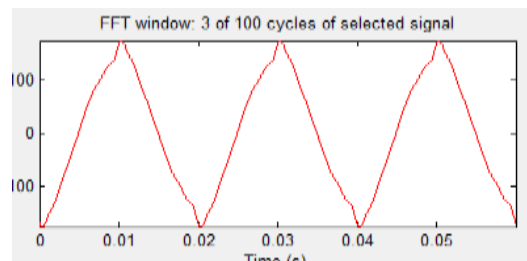


Gambar 8. Rangkaian Simulasi Sebelum Pemasangan Filter

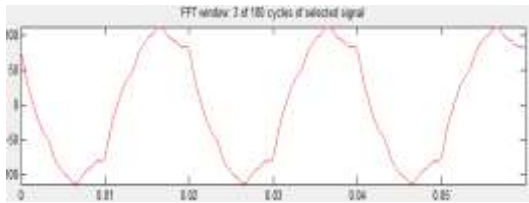
Kondisi total harmonic distortion (THD) arus tersebut dapat dianalisa dari tersebut bentuk gelombang arus dan presentasi harmonisa individual.



(a) Fasa R



(b) Fasa S



(c) Fasa T

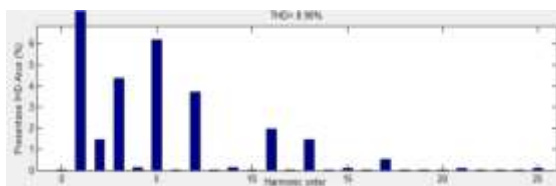
Gambar 9. (a), (b), (c) Bentuk gelombang arus sebelum pemasangan *filter*

Pada Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi gelombang arus sebelum pemasangan filter aktif *shunt*. Terlihat pada setiap fasa mengalami distorsi sehingga merusak bentuk dari gelombang tersebut menjadi tidak sinusoidal murni.

Tabel 1. Hasil simulasi THD arus

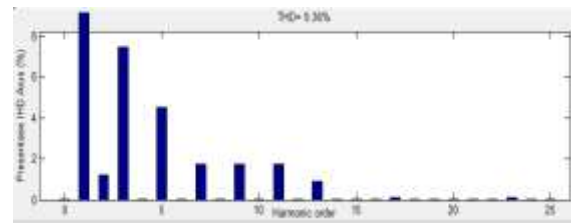
Saluran	THDi (%) Tanpa Filter
Fasa R	6,24
Fasa S	9,36
Fasa T	8,90

Dari hasil simulasi bentuk gelombang yang terdistorsi maka diperoleh nilai THD arus yang dapat dilihat pada Tabel 1.



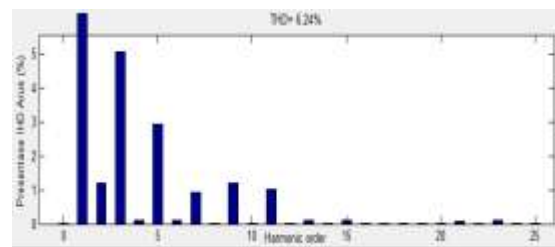
Gambar 10. Spektrum Orde Harmonisa Arus Fasa R

Pada hasil simulasi spektrum orde harmonisa yang ditunjukkan Gambar 10, pada Fasa R muncul karakteristik orde yang didominasi oleh orde 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11 dengan nilai IHD tertinggi mencapai presentase 5,05 % pada orde 3.



Gambar 11. Spektrum Orde Harmonisa Arus Fasa S

Dengan THD arus mencapai 9,36 %, fasa S memiliki karakteristik IHD tertinggi terdapat pada orde 3 dengan nilai presentase 7,49%. Selain orde 3, IHD arus pada fasa S didominasi oleh orde 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, dan 13 yang ditunjukkan pada Gambar 11



Gambar 12. Spektrum Orde Harmonisa Arus Fasa T

Sedangkan pada Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi spektrum orde harmonisa Arus pada fasa T yang mempunyai karakteristik orde yang didominasi oleh orde 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11

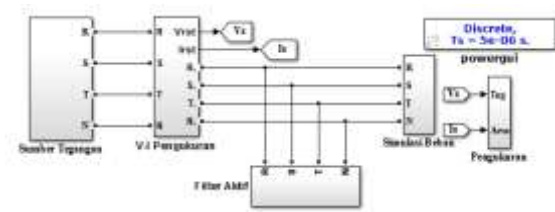
dengan nilai IHD tertinggi mencapai presentase 6,18 % pada orde ke 5. Nilai presentasi IHD arus setiap orde pada fasa R, S, T yang lainnya ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil presentase simulasi IHD arus setiap orde

Orde Harmonisa	Presentase(%)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
2	1,21	1,23	1,44
3	5,05	7,49	4,35
4	0,1	0,00	0,13
5	2,94	4,5	6,18
6	0,1	0,00	0,00
7	0,93	1,72	3,71
9	1,19	1,75	0,12
11	1,01	1,73	1,96
13	0,11	0,9	1,45
15	0,1	0,00	0,1
21	0,07	0,00	0,1
23	0,1	0,1	0,00
25	0,00	0,00	0,1

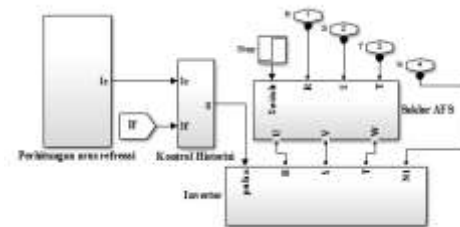
C. Simulasi Dengan Filter

Rangkaian simulasi sistem dengan filter aktif shunt ditunjukkan pada Gambar 13. Filter dihubungkan secara paralel dengan sumber dan beban.



Gambar 13. Rangkaian Simulasi Dengan Pemasangan Filter

Sedangkan rangkaian simulasi filter aktif shunt ditunjukkan pada Gambar 14 yang tersusun dari blok subsistem perhitungan arus referensi pemodelan daya aktif dan reaktif sesaat (Teori p-q), blok sistem pembangkit sinyal *Hysteresis Current Control*, blok VSI (*Voltage Source Inverter*) dan Saklar AFS.



Gambar 14. Rangkaian Simulasi Filter Aktif Shunt

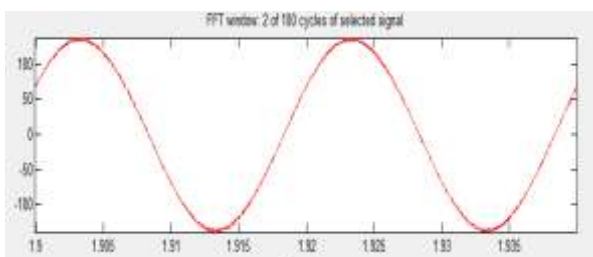
Untuk mendapatkan simulasi kompensasi arus harmonisa pada sistem yang baik, maka perlu menentukan tegangan dc, nilai kapasitor, dan nilai induktor (L_f) yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Parameter Filter Aktif Shunt

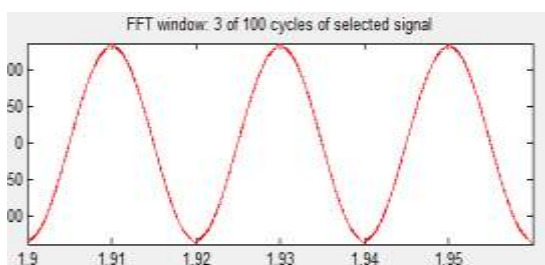
Parameter	Nilai
Tegangan DC(V_{dc})	1100 Volt
Kapasitor	0,0036 Farad
Induktor (L_f)	0,00705 Hendry

D. Hasil Simulasi Dengan Filter

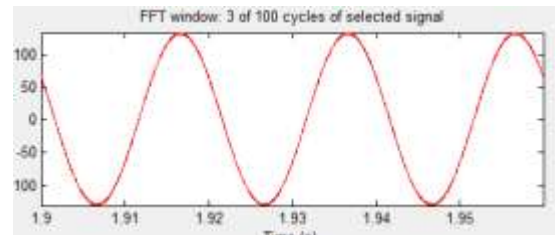
Pada bagian ini akan dianalisa hasil simulasi ketika beban telah dihubungkan secara paralel dengan filter aktif shunt. Kemudian hasil yang didapat akan dibandingkan dengan nilai standar IEEE sehingga dapat diketahui apakah filter aktif telah mampu mengatasi permasalahan harmonisa pada sistem yang dibahas pada setiap fasanya dari segi total harmonic distortion (THD), individual hamonic distortion (IHD), dan bentuk gelombang yang dihasilkan.



(a) Fasa R



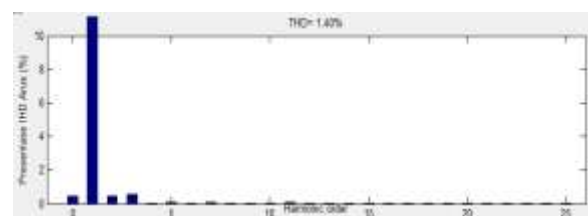
(b) Fasa S



(c) Fasa T

Gambar 15. (a), (b), (c) Bentuk gelombang arus sebelum pemasangan Filter

Gambar 15 menunjukkan bentuk gelombang arus pada fasa R, S dan T setelah pemasangan filter. Bentuk gelombang yang terlihat perbaikan bentuk yang cukup signifikan mendekati sinuosida murni dibandingkan dengan kondisi sebelum pemasang filter pada Gambar9 .Sedangkan penurunan IHD arus dan THD ditunjukan pada hasil simulasi pada spektrum orde harmonisa setiap fasa R, S, dan T.



Gambar 16. Spektrum Orde Harmonisa Arus Fasa R

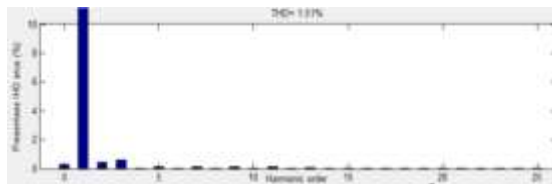
Setelah pemasangan filter, pada fasa R terlihat perbedaan pada presentase penurunan nilai IHD arus tertinggi orde ke 3 yaitu dari 5,05 % menjadi 0,54 %. Sedangkan nilai THD arus pada fasa R

turun menjadi 1,4%. Penurunan presentasi nilai IHD arus lainnya terlihat pada orde 2, 5, 7, 9, 11, dan 21 yang ditunjukkan oleh grafik perbandingan nilai IHD setiap ordenya sesudah dan sebelum pemasangan filter pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Nilai IHD Arus Sebelum dan Sesudah Filter Fasa R

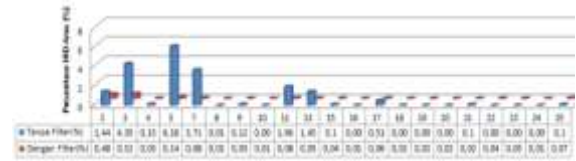
Untuk penurunan Nilai IHD arus yang dihasilkan sudah mengalami penurunan pada fasa S, terlihat pada Gambar 18 menunjukkan spektrum harmonisa setiap orde kelipatan 50 Hz mengalami perubahan dan penurunan bila dibanding pada bentuk spektrum sebelum pemasangan filter yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 18 Spektrum Orde Harmonisa Arus Fasa S

Bila dibandingkan hasil simulasi sebelum pemasangan filter pada Tabel 2, setelah simulasi pemasangan filter, IHD pada orde 3 diperoleh 0,61 %, nilai tersebut mengalami penurunan sebelum

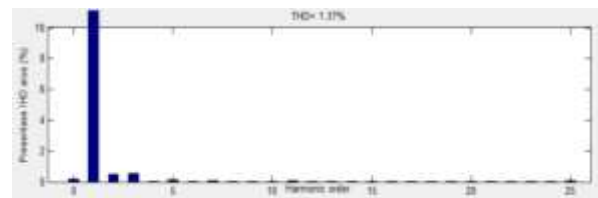
pemasangan filter yang mencapai nilai 7,49 %.



Gambar 19. Grafik Perbandingan Nilai IHD Arus Sebelum dan Sesudah Filter Fasa S

Nilai perubahan dari perbandingan IHD arus fasa S sebelum dan sesudah pemasangan filter ditunjukkan pada Gambar 19. Selain pada orde 3 yang mengalami penurunan, terlihat penurunan pada orde 2, 5, 7, 9, 11, dan 13.

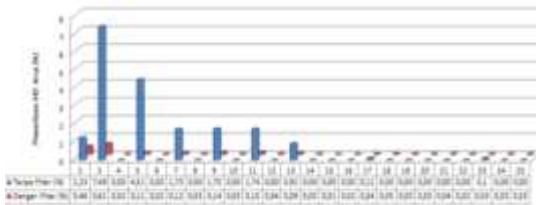
Dari hasil simulasi spektrum Orde harmonisa fasa T yang ditunjukkan pada Gambar 20, diperoleh perubahan nilai THD arus menjadi 1,37%. Nilai THD arus setelah pemasangan filter tersebut mengalami penurunan sebesar 7,65% dari nilai presentase THD arus sebelum pemasangan filter sebesar 8,9%.



Gambar 20. Spektrum Orde Harmonisa Arus Fasa T

Sedangkan pada Gambar 21 juga menunjukkan nilai IHD arus setelah pemasangan filter yang mengalami

penurunan. Pada orde 5 sebelum pemasangan filter, nilai IHD arus mencapai 6,18 % yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Setelah pemasangan filter diperoleh penurunan presentase pada orde 5 menjadi 0,14%.



Gambar 21. Grafik Perbandingan Nilai IHD Arus Sebelum dan Sesudah Filter Fasa T

Nilai penurunan IHD pada setiap orde ditunjukkan pada Gambar 21. Selain orde 3 yang turun, dapat dianalisa penurunan orde 2 dari 1,44% menjadi 0,48%, kemudian pada orde 3 dari 4,35% menjadi 0,52%, dan pada orde 7 mengalami penurunan presentase dari 3,71 % menjadi 0,08%. Penurunan juga terjadi pada orde yang lainnya seperti orde 11, 13, dan 17. Dari hasil simulasi juga terlihat adanya nilai presentase IHD arus yang muncul pada orde yang lainnya, tetapi nilainya sangat kecil yaitu dibawah 0,05 % sehingga dapat diabaikan.

Dari hasil simulasi setiap fasanya (R,S,T) menunjukkan perubahan signifikan dari perubahan bentuk gelombang, nilai harmonisa setiap ordenya, dan nilai total harmonic

distortion (THD) arus. Namun demikian, untuk penurunan nilai harmonisa pada setiap orde masih belum sempurna, karena terdapat orde yang belum terkompensasi dengan baik yang ditunjukkan pada pada setiap orde.

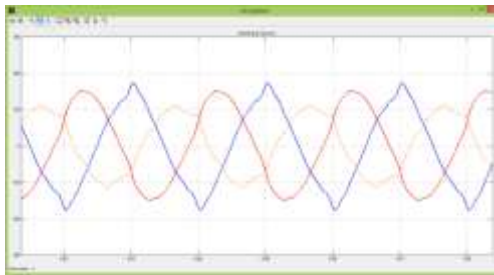
Apabila dianalisa pada bentuk spektrum orde harmonisa memunculkan harmonisa orde-orde yang lain yaitu dari 0,01 – 0,06 %, tetapi nilai tersebut sangat kecil bila melihat standar dari IEEE std 519-1992 sehingga dapat harmonisa pada orde tersebut tidak diperhitungkan. Sedangkan perbandingan penurunan THD arus pada setiap fasa (R, S, T) sesudah dan sebelum pemasangan ditunjukkan pada Tabel 4.7. Nilai THD arus pada setiap fasa mengalami penurunan 5-7 %.

Tabel 4. Perbandingan THD Arus Sesudah dan Sebelum Pemasangan Filter

Saluran	THDi (%) Tanpa Filter	THDi (%) Dengan Filter	Δ THDi (%)
Fasa R	6,24	1,4	4,84
Fasa S	9,36	1,51	7,85
Fasa T	8,9	1,37	7,53

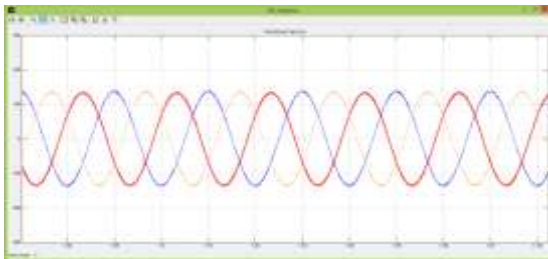
Dari hasil simulasi pada Tabel 4 terlihat bahwa setelah pemasangan filter aktif shunt, nilai THD arus pada sistem sudah mengalami penurunan yang cukup

signifikan dan dibawah standar IEEE std 1992 pada sistem yaitu 5%. Sedangkan Bentuk dari gelombang setiap fasa dengan pemasangan filter yang ditunjukan pada Gambar 4.23 mengalami perbaikan setelah pemasangan filter.



Gambar 22. Simulasi Gelombang Arus 3 Fasa Sebelum Pemasangan Filter

Pada Gambar 22 menunjukan simulasi gelombang pada setiap fasa R, S, dan T yang mengalami distorsi karena adanya harmonisa yang menyebabkan bentuk gelombang sinuosida yang cacat.



Gambar 23 Simulasi Gelombang Arus 3 Fasa Setelah Pemasangan Filter

Sedangkan bentuk gelombang sudah mendekati sinuisoda murni pada setiap fasanya, menunjukan bahwa pemasangan filter aktif shunt dapat memperbaiki gelombang pada arus listrik yang mengalami distorsi karena arus harmonis

3. KESIMPULAN

Dari hasil analisa harmonisa dan simulasi pemodelan filter aktif *shunt* dengan data diharmonisa di Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Berdasarkan hasil analisa pengukuran, sistem kelistrikan Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah MDP Gedung Lama memiliki THD tegangan yang sudah standar IEEE Std 519-1992. Nilai THD tegangan masih dibawah 5% yaitu dengan nilai setiap fasanya (R, S, T) mencapai 1,4 % - 3 %. Bentuk gelombang pada setiap fasa (R, S, dan T) masih berbentuk gelombang sinuisoda. Sedangkan nilai THD arus tidak memnuhi standar dari IEEE Std 519-1992, karena nilai presentase besarnya THD arus pada setiap fasa R, S, dan T melebihi batas minimal yaitu diatas lebih 5%. Sedangkan karakteristik IHD yang muncul didominasi pada orde 2, 3, 5, 7, 9,11, dan 13. Bentuk gelombang arus pada pengukran pada setiap fasanya mengalami distorsi harmonisa, sehingga bentuknya cacat.
2. Dari hasil simulasi tanpa filter diperoleh nilai THD arus pada setiap

fasa MDP Gedung Lama diperoleh hasil yaitu :

- a. 6,24 % untuk Fasa R
- b. 9,36 % untuk Fasa S
- c. 8,90 % untuk Fasa T

Sedangkan karakteristik nilai IHD arus yang muncul pada setiap fasa didominasi orde 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13 diperoleh hasil presentase yaitu

- a. Pada fasa R nilai orde (2, 3, 5, 7, 9, 11) adalah (1,21%, 5,05%, 2,94%, 0,93%, 1,19 %, 1,01%)
 - b. Pada fasa S nilai orde (2, 3, 5, 7, 9, 11, 13) adalah (1,23%, 7,49%, 4,51%, 1,73%, 1,75%, 1,74%, 0,92%)
 - c. Pada fasa S nilai orde (2, 3, 5, 7, 11, 13, 17) adalah (1,44%, 4,35%, 6,18%, 3,71%, 1,96%, 1,45%, 0,51%).
3. Parameter dari filter aktif *shunt* yang digunakan yaitu nilai induktor sebesar 0,00705 H, Frekuensi *switching* sebesar 12500 Hz, dengan tegangan referensi sebesar 1100 Volt dan kapasitor 0,0036 Farad.
4. Setelah pemasangan filter aktif *shunt*, nilai THD arus dapat ditekan sehingga diperoleh nilai THD arus yaitu :
- a. 1,4 % untuk fasa R
 - b. 1,51 % untuk fasa S
 - c. 1,37 % untuk fasa T

Dengan penurunan THD arus diikuti dengan penurunan IHD arus pada setiap fasanya sebesar :

- a. Pada fasa R nilai orde (2, 3, 5, 7, 9, 11, 13) adalah (0,44%, 0,54%, 0,08%, 0,05%, 0,01 %, 0,07%)
 - b. Pada fasa S nilai orde (2, 3, 5, 7, 9, 11, 13) adalah (0,46%, 0,61%, 0,11%, 0,12%, 0,14%, 0,15%, 0,09%).
 - c. Pada fasa T nilai orde (2, 3, 5, 7, 11, 13) adalah (0,48%, 0,52%, 0,14%, 0,08%, 0,08%, 0,05%, 0,06%)
5. Tingkat penurunan persentase THD arus setelah pemasangan filter yaitu mencapai :
- a. Pada fasa R mencapai 4,84%
 - b. Pada fasa S mencapai 7,85%
 - c. Pada fasa T mencapai 7,53%
6. Dari hasil simulasi dengan filter aktif *shunt*, diperoleh perbaikan gelombang arus listrik pada setiap fasanya karena distorsi harmonisa

Daftar Pustaka

- Afonso J, Aredes M, Watanabe E, (2000), "Shunt Active Filter for Power Quality Improvement", Industrial Electronic Dept. Minho University
- Akagi, H., Watanabe, E. D., Aredes, M., (2007), "Instantaneous Power

- Theory and Applications to Power Conditioning.”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Budiono,R.P.,(2015),“Simulasi Filter Aktif Dengan Auto Tuning Pi Controller Menggunakan Fuzzy Logic Controller Untuk Mengatasi Harmonisa Pada Pt. Kaltim Prima Coal”, Teknik Elektro UNDIP.
- D. Pradeep kumar, (2007), “Investigations On Shunt Active Power Filter For Power Quality Improvement” Thesis in Department of Electrical Engineering National Institute of Technology Rourkela, India
- Hadi Sugiarto, (2012), “Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak”, *Vokasi*, pp.80-89
- Irawan Suharto, (2013), “Simulasi Pengendali Filter Aktif Sebagai Upaya Memperbaiki Kualitas Daya Listrik Di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Pontianak”, *ELKHA*, pp.7-12
- Kirti Vibhute, (2014), “Modeling of Shunt Active Filter Using P-Q Theory” *IJSR*, pp.1900-1904
- Luqman Assaffat, Sri Arttini, M. Haddin, (2013), “Pemodelan Dan Simulasi Filter Aktif Shunt Untuk Perbaikan Harmonisa Sebagai Upaya Penghematan Energi Listrik”, *Media ElektriKA* , pp. 47-60
- Muhammad Shahbaz, (2012)“Active Harmonics Filtering of Distributed AC System”, Thesis in Department of Electrical Engineering National Norwegian University of Science and Technology, Norwegia.
- Odinanto, T., Winardi, S., Hadi Saputra, K, (2013), “Perancangan Filter Aktif Tiga Fasa Menggunakan Kontrol Propotional Integral Derivative (PID) Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik” Tersedia:jurnal.itats.ac.id/wp-content/uploads/2013/.../FILTER-AKTIF-3-Fasa.pdf. [diakses:3 Desember 2015].